

Automation im Mauerwerksbau

Voraussetzungen, Verfahren,
Wirtschaftlichkeit

Dr.-Ing. Jürgen Laukemper

Mit 73 Bildern

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	15
1.1	Anlaß der Arbeit	15
1.1.1	Arbeitsbedingungen	16
1.1.2	Bedeutung des Mauerwerksbaus	18
1.2	Abgrenzung der Arbeit	18
1.2.1	Automatisierungsbereich und -technik	18
1.2.2	Ausgangsmaterialien	20
1.2.3	Grundrisse und Wandarten	21
1.3	Ziel der Arbeit	25
1.4	Vorgehensweise	25
2	Rationalisierung und Automatisierung im Mauerwerksbau	27
2.1	Automatisierung im Bauwesen	27
2.2	Stand der Technik im Mauerwerksbau	29
2.2.1	Stationäre Vorfertigung	30
2.2.2	Arbeitshilfen zur Unterstützung der Mauerarbeiten auf der Baustelle	36
2.2.3	Automatisierte Fertigung auf der Baustelle	36
2.2.3.1	Vorhandene Entwicklungen	37
2.2.3.2	Gedankenmodelle	40
2.3	Zusammenfassung	43
3	Allgemeine Baustellenrandbedingungen	44
3.1	Klimatische Bedingungen	44
3.1.1	Temperaturen	44
3.1.2	Niederschläge	45
3.2	Staub und Schmutz	46
3.3	Transport	46
3.4	Bewegungsraum des Roboters	47
3.4.1	Einschränkungen der Bewegungsfreiheit	47
3.4.2	Ebenheit und Oberfläche der Decke	48
3.5	Decken- und Schalungstraglasten	50
3.6	Maßabweichungen und Genauigkeitsanforderungen	53
3.6.1	Ausgleichsmöglichkeiten vorhandener Maßabweichungen	54
3.6.2	Genauigkeitsanforderungen	54
3.6.3	Lösungsansatz	55

3.7	Reichweite eines Roboters	60
3.7.1	Höhe der Wände	60
3.7.2	Abstand des Roboters zur Wand	61
4	Mauerwerkserstellung und Baustoffe	62
4.1	Oktametrische Maßordnung	62
4.2	Versatzmaß und Verbände	62
4.3	Steine	64
4.3.1	Bedeutung der einzelnen Steinsorten und Steingrößen	65
4.3.2	Ermittlung von Steingrößen für eine automatisierte Fertigung	66
4.3.3	Unterschiedliche Formen großformatiger Steine	68
4.3.4	Anlieferung und Steinaufnahme	69
4.3.5	Steintransport und Steinablage	71
4.3.6	Randbedingungen und Anforderungen an ein Greifsystem	74
4.3.7	Maßabweichungen der Steine	76
4.4	Verbindungen der Steine und der Wände	78
4.4.1	Mörtelarten und ihre Verarbeitungszeiten	78
4.4.2	Anlieferung, Aufarbeitung und Transport zur Einbaustelle	79
4.4.3	Verbindung der Steine	80
4.4.3.1	Lagerfugenvermörtelung von versetzten Steinen	81
4.4.3.2	Stoßfugenvermörtelung zwischen versetzten Steinen	82
4.4.3.3	Mörtelauftrag vor dem Versetzen der Steine	84
4.4.3.4	Auswahl eines automatisierungsgerechten Verfahrens	85
4.4.4	Verbindung der Wände	86
4.5	Reihenfolge der Steinverlegung bei automatischer Fertigung	88
5	Randbedingungen in Abhängigkeit von der Robotertechnik	92
5.1	Sicherheitsanforderungen	92
5.1.1	Hauptrisiken	93
5.1.2	Anforderungen bei verschiedenen Automatisierungsmöglichkeiten	93
5.1.2.1	Automatisches Fahren und Arbeiten ohne Sicherheitsabfrage	94
5.1.2.2	Automatisches Fahren und Arbeiten mit Sicherheitsabfrage und manuelles Fahren	95
5.1.3	Weitere Anforderungen	96
5.2	Energieversorgung des Roboters	96
5.3	Leittechnik	97
5.4	Beweglichkeit	99

5.5	Kinematik	101
5.5.1	Anforderungen an die Kinematik	101
5.5.2	Kinematik der Ausleger	103
5.6	Geometrie	108
5.6.1	Bestimmung der Gesamtauslegerlänge l_A anhand von ausspringenden Ecken	108
5.6.2	Bestimmung der Auslegerlänge l_A anhand von einspringenden Ecken und einbindenden Wänden	112
5.6.3	Randbedingungen zur Bestimmung der Einzellängen von l_A	114
6	Automatische Fertigung von Mauerwerk mit Robotern	115
6.1	Notwendige Eingabedaten für die Simulation mit Hilfe des Programmsystems "MAUER"	115
6.1.1	Wanddaten	115
6.1.2	Steindaten und Versatzmaß	116
6.1.3	Verbindungsart und Mörtelverbrauch	117
6.2	Bestimmung der Steinkoordinaten und der Segmentgrößen	118
6.2.1	Arbeitsbereich des Roboters	118
6.2.2	Beginn des ersten Mauersegments	118
6.2.3	Bestimmung des jeweiligen Roboterstandortes	119
6.2.4	Ende eines Segments	120
6.2.4.1	Öffnungen	121
6.2.4.2	Freie Wandenden und Ecken	123
6.2.4.3	Heizkörpernischen und Installationsschlitze	125
6.2.5	Bestimmung der Steinpositionen	125
6.3	Ermittlung der Versetzzeiten	127
6.4	Optimierung durch Parametervariation	128
6.4.1	Variation der Roboterkonfiguration	128
6.4.2	Optimierung in der Entwurfsphase	129
6.4.3	Variation der veränderlichen Parameter	131
6.5	Organisationsformen für den Mauerrobotereinsatz	133
6.6	Ablauf der Arbeiten	134
6.6.1	Arbeitsvorbereitung	134
6.6.2	Baustellenfertigung	136
6.6.2.1	Allgemeine Vorarbeiten	136
6.6.2.2	Vorarbeiten der Segmentfertigung	138
6.6.2.3	Fertigung der Segmente	140

7	Kostenschätzung und Kostenvergleich der Fertigung von Mauerwerk mit Robotern	143
7.1	Grundlagen der Vergleichsrechnung	144
7.2	Arbeitskosten der manuellen Fertigung	144
7.3	Kostenschätzung für die automatisierte Fertigung	145
7.3.1	Organisationsform als Grundlage der Kostenschätzung	145
7.3.2	Kosten und Leistung der automatisierten Fertigung	146
7.3.2.1	Kosten des Roboters	147
7.3.2.2	Transportkosten	148
7.3.2.3	Kosten für die Vorbereitung und Nachbearbeitung der Fertigung	149
7.3.2.4	Lohnkosten des Operators	149
7.3.3	Leistungsermittlung des Roboters	150
7.4	Kostenzusammenstellung und Vergleich	151
8	Zusammenfassung	156
9	Abkürzungs- und Variablenverzeichnis	160
10	Literaturverzeichnis	163